

材退火状态下的拉力性能数据。热工作鋼易于氮弧法熔焊，并且点焊縫合焊都不会有問題。实际上热工作鋼点焊較鋁或 301 不銹鋼的点焊都簡單。

摘要：

高速飞机的高溫工作强度要求材料具有高

溫高强度，而工具鋼滿足了要求。热工作鋼高强度与其配合的韌性，使其出色地选来作为結構蒙皮。特別是 PotomacM 鋼为适用于現代的飞机工业在高溫下性能的要求。

朱开义譯自 “Steel Processing and conversion” 1958. No1.

用于高溫飞机和導彈的新鋼种

当我们未来的飞机和導彈的真正速度尚屬軍事秘密的时候，由于高速飞行所引起的高溫問題已为人所熟知。由于空气摩擦發生的热降低了飞机結構材料的有效强度，这就提供了設計师和材料师所希望的問題。

材料的要求：

在选择这样使用的材料时，在飞行溫度材料每單位重量的高强度是主要的条件。若果在这方面看来有希望的材料，然后再将有关武器制造的若干因数加以研究。必須是在一般和特殊形状都适用的材料，才能完全合用于飞机的大量生产。对于飞机制造者說来，能否易于加工强烈地影响着材料的具体价值。奇怪的是在武器系統的总成本中材料的費用認為只占小部分。然而就付稅人的利潤來說，材料的費用亦不应忽視。

对于高速飞机只發現了几种材料能滿足高强度的要求。对于这样用途，某些特殊鋼种与鈦合金是主要的竞争者。这类材料現在正用作靠近我們最快的飞机的噴气热流的高溫部分以及圍繞發動机的飞机构架部件。

• 几乎由部件組合而成的若干飞机結構的四分之三的重量是由板材金屬制成的。由于采用由金屬薄板制成的峰房結構而获得了既强且輕又堅的优良性能。很少的高强度材料能够大量商品生产成为合乎峰房本体用的金屬箔以及合乎表皮用的既薄又精确的板材。

在現代噴气發動机所产生的超音范围，飞机結構的某些暴露部分証明受到了高的疲劳应力。在这类条件下焊接和粘焊的峰房結構远較

一般鉚接的蒙皮为优。为了發揮最佳的性能，高强度材料可以焊接和粘焊認為是重要的。

薄板鋼材的使用經驗：

关于高速飞机中的薄板結構鋼的大部使用經驗，直到現在，曾限于 Arwcos 公司实验室的两种沉淀硬化不銹鋼。从 1948 年起即已上市，其牌号为 Arwco17-7PH 及 17-4PH。

17-7PH 的薄板第一次主要用作 F-86 佩刀式噴气飞机結構的肋梁和桁梁。适合的工艺經驗及应用也將其推广到其他标准部件。現在，17-7PH 薄板鋼件普遍用于 F-100, F-102, F-104 及 F-105 战斗机以及 B-52 及 B-58 轟炸机的重要部件。用此鋼种作導彈部件是否合适亦已試过。与其他高强度材料相竞赛，17-7PH 曾規定用作焊接的，輕的和忍受高压的導彈燃料桶。在此时期，因为 17-7PH 不銹鋼易于切削和热处理簡單，而采用为合乎飞机及導彈部件的大型鍛件和配件。

在生产和使用这两种鋼若干千吨以后提供了对材料要求的一种了解，而这些要求进一步鼓励了探索此类型的更佳的鋼料。經過过去五年中，超音速度曾是急剧地增加。对于更高的飞行溫度，这就強調了必須更强的薄板材料。近代探索使用到 1000°F 的鋼种和鈦合金大都集中在加入合金元素以改善高溫强度。本文将談到新鋼种 PH15-7Mo 的特性并与最进改进的鈦合金的性能相比較。

PH15-7Mo 不銹鋼：

代号为 PH15-7Mo 的新鋼种为含鉻 15% 及鎳 7% 的沉淀硬化型。其高强度的性能来自强烈

地硬化作用,而此作用則系由于約有1.2%的鋁的存在而得來。在1000°F能很好地保持高的強度性能則靠用了約2.5%的鋁。馬氏体型鋼主要依靠含碳量以獲得高強度,而PH15-7Mo的含碳則需控制在低限——低於0.9%。這就使其在焊接時無須預熱或退火,但在焊接普通及不銹高強度的馬氏体型鋼時則必須如此才能減少裂碎。

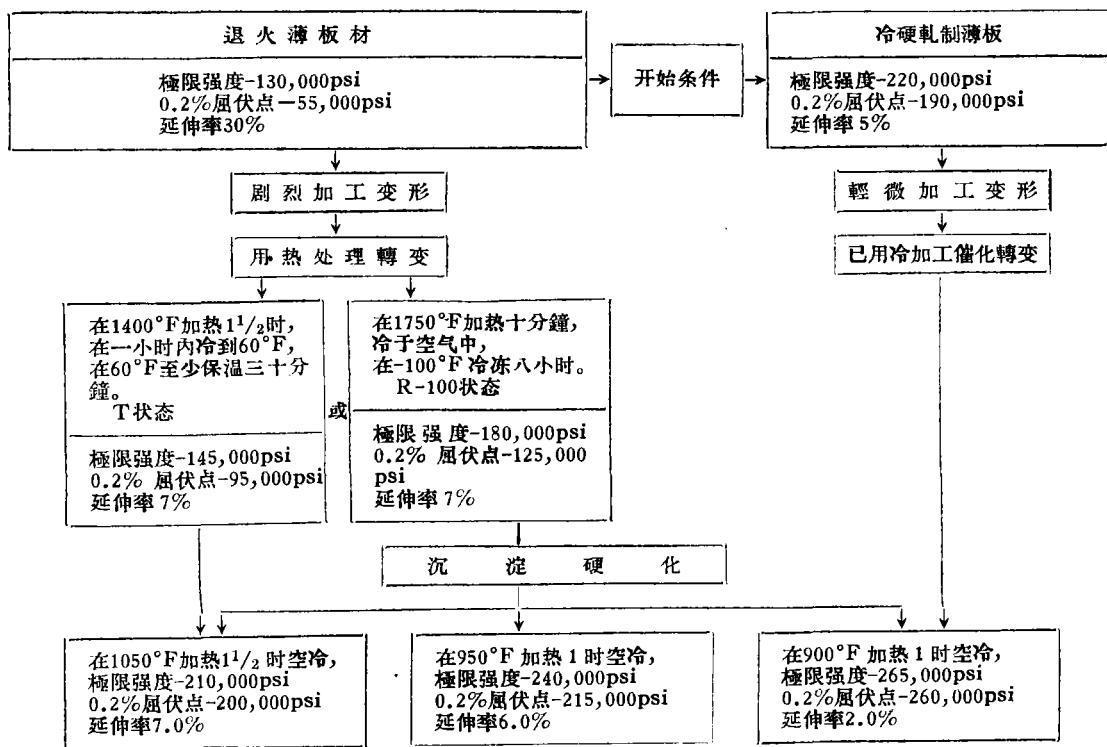
必須仔細控制化學成份中各元素的含量才能保證在軟的退火狀況下絕大部分都是奧氏體結構。這種結構使此鋼在高強度材料中成為最易于冷加工的材料。並且這種沉淀硬化金屬與一般的高強度鋼不同,即在400~900°F之間長時間暴露的結果也不致于回火或破壞了室

溫強度。沉淀硬化鋼在800°F受應力到工作極限應力以上1000小時以後,其測出的室溫強度略為增高了。

硬化工艺:

硬化的工艺适应着不同的生产情况而变化。当其制造飞机部件需要高度的冷变形时,則須用退火狀況的材料。若果只需要輕微的变形加工,則使用冷硬軋制的薄板及鋼帶仅用一个簡單的900°F热处理即可得到特別高的強度。在任何的情況下,在沉淀硬化處理以前,必須是部分硬化或已催化的狀態。表1說明PH15-7Mo的加工和热处理工艺規程以及其标准的室溫性能。

表1 PH15-7Mo 鋼的加工和热处理的工艺規程



对于 PH15-7Mo鋼板及鋼帶保証的性能:

材料製造者所保証的性能對設計師是重要的,因為它們是將設計強度轉變為具體實施的起點。對於PH15-7Mo 薄板及鋼帶保証的室溫性能為:

機械性能	退火狀態	在1050°F時效	在950°F時效
最大強度psi	≤150,000	≥190,000	≥225,000
0.2%屈伏點psi	≤60,000	≥170,000	≥200,000
在2"中延伸率%	≥25.0	≥5.0*	≥4.0*

* 對於厚度≥0.020吋的薄板。

对于特殊施工特性要求較低的强度和較高的展延性的时候，其加工与热处理規程的詳細内容則須改变。强度和展延性受着从軟的奧氏体轉变为馬氏体的程度的影响。若果单独采用冷加工来加速轉变，則获得的强度直接与冷加工量成正比，若果用热加工来进行轉变，則碳化物沉淀的程度与乎鋼所冷到的溫度范围都是控制的变数。

强度和展延性又受着用于沉淀硬化的時間和溫度的影响。在950到1000°F短時間即可实现时效效果的高峰。若用較此更高或更低的溫度（在750~1150°F的范围），均将获到較小的强度。当其需要較高的展延性时，則应采用較高的沉淀硬化溫度，例如对于焊接的高压的導彈用的燃料桶即系此种情况。

高温强度：

材料到达600°F溫度的抗拉强度和其他有关性能一样，常常用到飞机設計方面去。圖1所示为热处理后的17-7PH及PH15-7Mo薄板溫度到达1000°F的抗拉强度。PH15-7Mo徑950°F时效处理后，比常用的17-7PH鋼徑1050°F时效后，能获得約提高25%的抗拉强度。研究其他高温性能諸为压缩層伏点，剪力，承载荷以及缺口抗拉强度發現了PH15-7Mo最适合于高速飞行的要求。

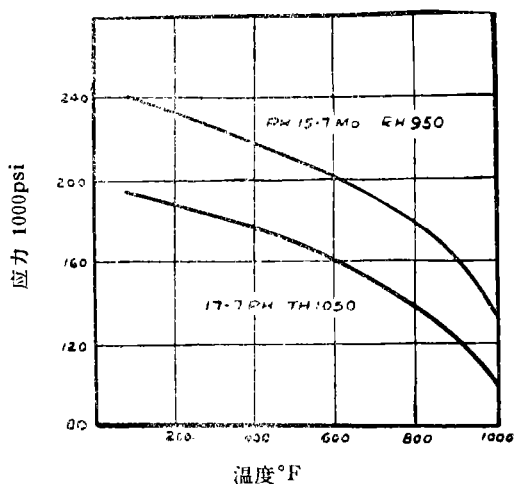


圖1 17-7PH 及 PH15-7Mo 薄板高温瞬时拉伸的比较。

材料的蠕变性能的数据对于那种工作溫度超过600°F而須長時間工作，如在長距离飞行或多次飞行的飞机的設計达到極限应力是有帮助的。对于在950°F时效的PH15-7Mo薄板，在600~900°F范围内从2分到1000小时施加抗拉应力的各种不同情况的总的变形量圖示于第2圖中。PH15-7Mo鋼在短时和長时的载荷下均对变形很能抵抗。圖示出的应力——应变現象促使其能用于蠕变为一因素的情况下。

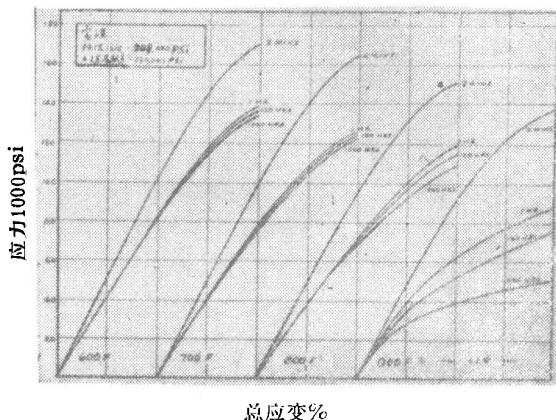


圖2 在950°F时效的PH15-7Mo的应力—应变時間曲綫。

当其由蠕变得到的永久变形为一限制的因素时，則設計师努力求得可以得到的所有的蠕变强度。在800°F1000小时产生0.2%的永久变形測出需要的抗拉强度时，發現了PH15-7Mo鋼的强度三倍于在同样情况下的常用的17-7PH。

PH15-7Mo与其他輕合金的强度——重量的比較：

比較不同密度的飞机材料的强度时常常选定每比較的單位重量的强度为基准。此点意味着經過不同密度的补偿以后，鋼亦必显然較其他輕合金为强。第3，4及5圖考虑到了材料的密度并表明了它們的强度性能如何受着应力和溫度的影响。

第3圖在这个“重量对重量”的基础上提供了各种材料的瞬时拉伸比較的数据。在此基础上对于高温用途說来最强的鋁合金商品也是

显然不够的。目前应用最广泛的钛合金板材 Ti-6Al-4V 与在 1050°F 时效的 17-7PH 相掠。在 500°F 以上，PH15-7Mo 钢的强度——重量比超过了热处理后的 Ti-6Al-4V 钛合金。据飞机制造厂报告在半商品式的基础上，Ti-6Al-4V 系可用的钛合金板材中最有希望的。

因为在许多设计中压缩屈服强度是非常重要的，第 4 图即就各种材料的这一性能作了比较。不管钛合金怎样地在密度方面占优势，沉淀硬化不锈钢种均优于含锰 8% 的钛合金 Ti-6Al-4V。在 600°F 以上，经过 950°F 时效的不锈钢 PH15-7Mo 比热处理后的 Ti-6Al-4V 合金要略强一些。

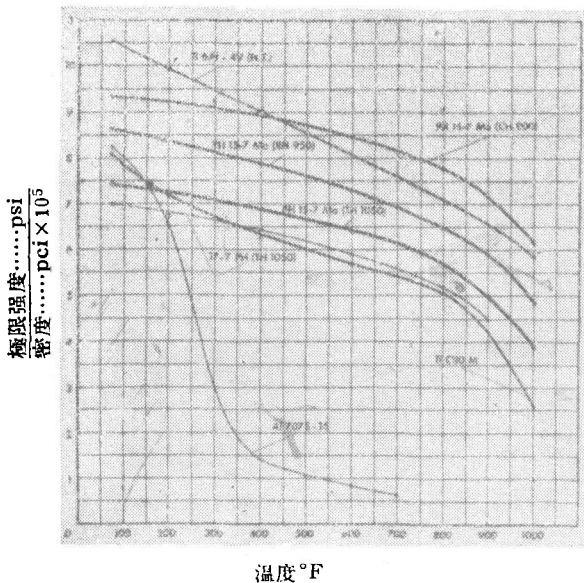


圖 3 在“重量对重量”的基础上各种飞机材料的瞬时拉伸强度的比较。

当这些较优的材料在其高温蠕变性能的基础上相比较时，其数据利于第 5 图。强化的 Ti-6Al-4V 的长时间的蠕变性能据说并不佳。然而，从手边上可靠的资料，在高温 1000 小时忍受载荷下抵抗永久变形的能力，PH15-7Mo 钢显著地较略轻的经过热处理的 Ti-6Al-4V 合金为优。不少现在的探索都针对着沉淀硬化不锈钢和钛合金的较高温度的进一步改进的蠕变性能而进行研究。

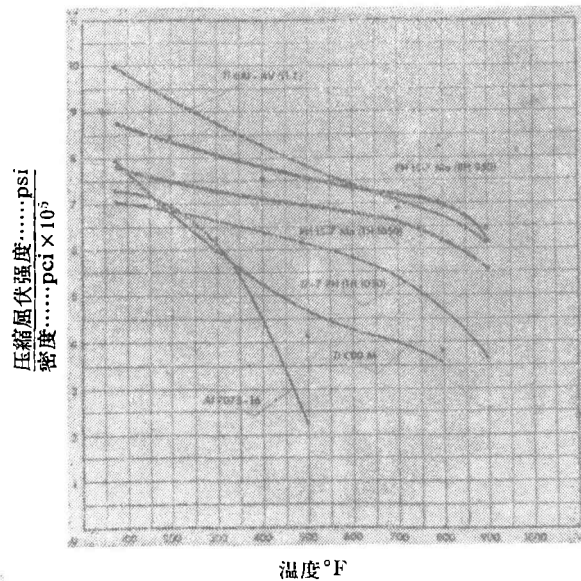


圖 4 在“重量对重量”的基础上各种飞机材料的压缩屈服强度的比较。

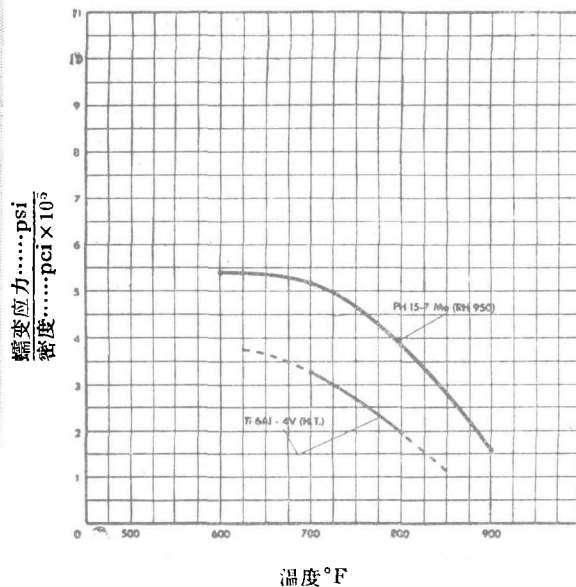


圖 5 在“重量对重量”的基础上 PH15-7Mo (RH 950) 与 Ti-6Al-4V (H.T.) 的蠕变强度的比较。

摘要:

高温强度的比较说明了 PH15-7Mo 不锈钢在板材的状况就“重量对重量”是最好的钛合金的竞争者。更从实用的意义来说，PH15-7Mo 钢是比较更易于轧制成薄而精确的板材，并且是所有高强度材料中最易于加工的。

吳世澤譯自“Steel Processing and Conversion” 1958.N.I.